

<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-2-14>

УДК 330.4:332.12:631:551.583

JEL C02, Q10, Q54

Н. М. Светлов  

Всероссийский институт аграрных проблем и информатики им. А. А. Никонова – филиал ФНЦ ВНИИЭСХ,
г. Москва, Российская Федерация

МЕТОДИКА ОТБОРА РЕГИОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДАПТАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА¹

Аннотация. Влияние изменения климата на социальные и институциональные условия ведения сельского хозяйства России (в отличие от технологических) практически не изучено. При ограниченном бюджете исследования в этом направлении целесообразно проводить на примере малой выборки регионов. Чтобы при формировании выборки свести к минимуму субъективный фактор, создана формализованная методика формирования и оценки выборки заданной численности с тем, чтобы представленные в ней регионы существенно различались природными условиями, эффективностью сельскохозяйственного производства, вкладом в него крестьянских хозяйств и при этом в совокупности вносили значительный вклад в валовое сельскохозяйственное производство страны. Методика, в отличие от известных, использует задачу линейного программирования, все угловые решения которой целочисленны. Разнообразие регионов по эффективности обеспечивается включением в выборку как эффективных, так и неэффективных регионов, выявляемых по методу DEA. Наилучшей с позиций указанных требований оказалась выборка, включающая в себя Алтайский, Красноярский, Краснодарский края и Московскую область. Для регионов, вошедших хотя бы в одну из пяти лучших выборок по данному критерию (помимо вышеперечисленных, это Волгоградская, Саратовская и Ленинградская области), при помощи модели частичного равновесия на рынках сельскохозяйственной продукции субъектов Российской Федерации (модели ВИАПИ) оценено влияние сценарного изменения климата на производство и оптовые цены десяти видов сельхозпродукции. Установлено, что производство в отобранных регионах устойчиво к этому влиянию, за исключением Алтайского края и Красноярского края, но это не препятствует росту цен на региональных рынках из-за воздействия мировых цен на продукты переработки молока и на зерно.

Ключевые слова: малочисленная выборка, разнообразие, природно-сельскохозяйственные зоны, техническая эффективность, частичное равновесие, линейное программирование, сценарный анализ

Благодарность: Исследование выполнено за счет средств совместного научного проекта РФФИ и программы «ERA.Net RUS plus» «Исследование потенциала российского сельского хозяйства для производства продовольствия, сельского развития, смягчения и адаптации к изменению климата: роль изменения землепользования, технологического прогресса и аграрной политики» № 20-55-76005.

Автор выражает признательность своим коллегам за полезные обсуждения. В их числе Ф. Ширхорн (IAMO, Германия), Р. Бокушева (ZHAW, Швейцария), Л. Вранкен (Katholieke Universiteit Leuven, Бельгия), Н. Дронин (МГУ, Россия).

Для цитирования: Светлов, Н. М. (2023). Методика отбора регионов для исследования адаптации сельского хозяйства к изменению климата. *Экономика региона*, 19(2), 480-493. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-2-14>

¹ © Светлов Н. М. Текст. 2023.

RESEARCH ARTICLE

Nikolai M. Svetlov  

All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A. A. Nikonov (VIAPI n. a. A. A. Nikonov) – Branch of the FSBSI FRC AESDRA VNIIESH, Moscow, Russian Federation

Methodology for Selecting Regions to Study the Adaptation of Agriculture to Climate Change

Abstract. The impact of climate change on the social and institutional conditions of agriculture (as opposed to technological ones) in Russia has hardly been studied. With a limited budget, such research should examine a small sample of regions. To reduce the subjectivity, a formalised methodology for creating and ranking small samples of regions was developed. While occupying the largest possible share in the country's gross agricultural production, the regions included in the sample should significantly differ in natural and agricultural zones, agricultural production efficiency, contribution of peasant farms to agricultural output. Unlike other methods, the proposed technique uses a linear programming problem, where all corner solutions are integer. Data envelopment analysis (DEA) was utilised to ensure the inclusion of both efficient and inefficient regions in the sample. In accordance with these requirements, Altai, Krasnoyarsk, Krasnodar krajs and Moscow oblast were selected for analysis. For the regions included in at least one of the five best samples (such as Volgograd, Saratov and Leningrad oblasts), a model of partial equilibrium on the wholesale markets of agricultural products of the constituent entities of the Russian Federation (VIAPI model) was applied to assess the impact of scenario climate change on the output and wholesale prices of ten types of agricultural products. The research revealed that while the production in the selected regions is resistant to this influence, except for Altai and Krasnoyarsk krajs, regional market prices are still rising due to the impact of world prices for milk products and grain.

Keywords: small sample, diversity, natural agricultural zones, technical efficiency, partial equilibrium, linear programming, scenario analysis

Acknowledgments: *The article has been prepared in the framework of a joint scientific project of the RFBR and the "ERA.Net RUS plus" program "Exploring Russian Agriculture's Potential for Food Production, Rural Development, Climate Mitigation and Adaptation: The Role of Land Use Changes, Technological Upgrading and Policies" No. 20-55-76005.*

The author would like to express gratitude to his colleagues for valuable discussions, including are F. Schierhorn (IAMO, Germany), R. Bokusheva (ZHAW, Switzerland), L. Vranken (Katholieke Universiteit Leuven, Belgium), N. Dronin (Lomonosov Moscow State University, Russia).

For citation: Svetlov, N. M. (2023). Methodology for Selecting Regions to Study the Adaptation of Agriculture to Climate Change. *Ekonomika regiona / Economy of regions*, 19(2), 480-493. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-2-14>

1. Введение

В статье предложен вариант решения проблемы отбора регионов для их включения в исследовательский проект при следующих условиях:

— задан перечень признаков, характеризующих регионы;

— в выборку заданной численности включаются регионы, различающиеся по этим признакам (требование разнообразия);

— вклад выборки в экономику страны (макрорегиона, отрасли) по заданному критерию должен быть настолько велик, насколько это возможно при соблюдении требования разнообразия (требование представительности);

— требование статистической репрезентативности отобранных регионов по отношению к генеральной совокупности неактуально: каждый регион рассматривается как самостоятельный объект изучения.

Проблема возникла в связи с международным проектом «Исследование потенциала российского сельского хозяйства для производства продовольствия, сельского развития, смягчения и адаптации к изменению климата: роль изменения землепользования, технологического прогресса и аграрной политики» (далее ИПРСХ). Условия проекта, в том числе финансовые, ограничивают его пространственный охват четырьмя субъектами Федерации. Выбранные регионы, в соответствии с целями проекта, должны представлять разнообразные институциональные уклады, уровни эффективности сельского хозяйства, природные условия. При этом они в совокупности должны вносить значительный вклад в сельскохозяйственное производство страны.

Не в ущерб названным требованиям следует обеспечить возможность учесть и другие, признанные второстепенными. Таковы, например,

требования разнообразия наблюдаемых тенденций в сельскохозяйственном землепользовании или ожидаемых последствий изменения климата для сельского хозяйства, обоснованных предшествующими исследованиями. Их можно принять во внимание, выбирая между вариантами выборок, почти равноценными наилучшей (с точки зрения первостепенных требований), в случае, если такие варианты существуют. Учет второстепенных требований вносит элемент субъективизма в итоговый выбор, который, однако, ограничивается соглашением о том, какие выборы считать «почти равноценными».

Набор субъектов Федерации, формально отвечающий указанным требованиям, может быть отклонен из-за трудностей при сборе необходимых данных или по другим объективным причинам. На этот случай должна быть предусмотрена возможность оперативного формирования альтернативных выборок, отличающихся от сформированных ранее.

В подобных ситуациях, когда учитываемых признаков много, а число отбираемых регионов жестко ограничено, выбор обычно опирается на субъективные оценки. По завершении исследования бывает трудно доказать, что выбор сделан независимо и свободен от стремления подогнать результаты под желаемые гипотезы. Принцип, заложенный в предлагаемую методику, позволяет основать доказательство на проверяемых формальных аргументах.

Изучение научной литературы соответствующего профиля показало, что готового решения, сводящего к минимуму субъективный фактор при формировании малочисленной выборки регионов для осуществления исследовательского проекта, она не предлагает. Решение этой проблемы составляет научную новизну исследования, представленного в статье. В более узком смысле новыми являются следующие результаты. Во-первых, предложенный и подтвердивший свою плодотворность методологический принцип формирования малочисленной выборки, обеспечивающей требуемое разнообразие по заданному множеству критериев. Он основан на экстремальной постановке задачи отыскания множества, отвечающего заданным условиям. Во-вторых, демонстрация на конкретном примере существования такой спецификации этой задачи, для которой существует высокоэффективный численный метод решения. В-третьих, построение методики отбора регионов для включения в программу исследований ИПРСХ, включающей в себя формализацию требований разнообразия и пред-

ставительности, составление и решение экстремальной задачи формирования выборки, оптимальной по критерию представительности и отвечающей требованию разнообразия; способ исключения вариантов выборки, которые по той или иной причине признаны неприемлемыми. Первые два результата общезначимы, третий имеет ценность для вышеупомянутого исследовательского проекта.

2. Степень изученности проблемы

2.1. Взаимовлияние климата и сельского хозяйства России

В научной литературе имеется немало оценок влияния изменений климата на сельское хозяйство России. Ранние исследования, в числе которых авторы статьи (Alcama et al., 2007), заложили основу современной точки зрения на факторы, способствующие устойчивости сельского хозяйства страны к изменению климата (противоположная направленность эффектов в разных регионах) и препятствующие ей (возрастание частоты сельскохозяйственных сезонов с экстремальными погодными условиями). Контрмерой против риска засух, который, по имеющимся оценкам, особенно быстро нарастает в южных частях бассейнов Волги и Дона, может служить развитие ирригации, и авторы статьи (Kiselev et al., 2016), основываясь на расчетах при помощи модели частичного равновесия IMPACT-3, приходят к выводу, что этот риск станет мощным стимулом развития ирригации на указанных территориях. В монографии (Биоклиматический потенциал..., 2012) обосновывается подход к разработке аграрной политики, направленной на то, чтобы каждая отрасль заранее концентрировалась на территориях, где изменения климата повысят ее конкурентоспособность в будущем. Комплексная оценка влияния климата на продовольственную безопасность России на перспективу до 2050 г. представлена в статье (Kiselev et al., 2013).

Выводы статьи (Pavlova et al., 2014) содействуют лучшему пониманию влияния погодных факторов на урожайность яровой пшеницы в степной зоне России. В статье (Belyaeva & Vokusheva, 2018) на основе рядов динамики урожайности и климатических параметров в разрезе субъектов Федерации и климатического прогноза, представленного в (Climate change..., 2014), исследуются ожидаемые изменения урожайностей пшеницы (раздельно озимой и яровой) и ярового ячменя для России, обусловленные чистым влиянием климати-

ческого фактора (остальные факторы, учтенные в использованной модели, зафиксированы на уровнях 2012 г.). В (Siptits et al., 2021) исследование также проведено в разрезе субъектов Федерации. Оно дает оценку влияния климата на урожайности зерновых и зернобобовых. Изменение климата представлено прогнозной динамикой среднемесячной температуры и осадков в каждом месяце вегетационного периода (апрель — август) в соответствии с прогнозами CMIP3 и CMIP5¹. В книге (Романенко и др., 2020) решаются вопросы стратегического планирования адаптации сельского хозяйства регионов России к прогнозируемым климатическим изменениям.

Авторы монографии (Порфирьев и др., 2011) обращают внимание на необходимость дополнения методологии исследования последствий изменения климата для сельского хозяйства и рынков продовольствия учетом изменений в биоценозах, обусловленных переменами в климате. В частности, они отмечают риск изменения ареалов распространения вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Ответом на этот запрос стала методика оценки последствий изменения климата в России с детализацией до субъектов Федерации, основанная на моделировании смещения природно-сельскохозяйственных зон, созданная коллаборацией ученых ЦЭМИ РАН и ВИАПИ имени А.А. Никонова — филиала ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ (Svetlov et al., 2019).

Обратное влияние — вклад сельского хозяйства России в изменение климата — все еще остается малоизученным. Здесь следует выделить сравнительный анализ изменений в эмиссии парниковых газов на гектар посевов в России и ряде других стран (Строков, 2021) и статью (Строков и др., 2020), в основу которой положены результаты моделирования с использованием GLOBIOM — глобальной модели равновесия на рынках отдельных видов продукции сельского и лесного хозяйства, учитывающей выбросы парниковых газов. Практически не изучено ожидаемое влияние на сельское хозяйство России и ее регионов со стороны различных вариантов политики, направленной на сокращение влияния хозяйственной деятельности человека на климат: имеющаяся эмпирическая база пока не отвечает потребностям таких исследований. Кроме того, в имеющейся литера-

туре не разработаны подходы к изучению последствий изменения климата и механизмов адаптации к нему с учетом институциональных различий, уровня эффективности сельскохозяйственного производства, специализации и многих других факторов как в региональном разрезе, так и на уровне отдельных сельхозтоваропроизводителей.

Проект ИПРСХ нацелен на то, чтобы на материале отдельных субъектов Федерации дать импульс изучению аспектов этой тематики, не разработанных в имеющихся публикациях. Этого предполагается достичь через создание приемлемых по затратам и достаточно эффективных методик исследования, адаптированных к специфике российского сельского хозяйства и отечественной статистики. В частности, одна из значимых его целей — добиться прогресса в понимании дифференциации последствий изменения климата и адаптационных способностей сельхозтоваропроизводителей российских регионов в зависимости от институциональных факторов и достигнутого уровня эффективности производства.

2.2. Методические подходы к отбору объектов для исследования

Подход к отбору регионов зависит от направленности исследовательского проекта на поиск либо общих закономерностей, либо исключений из них. В статье (Linos, 2015) представлен обзор концептуальных подходов к выбору регионов применительно к обоим случаям. Для целей проекта ИПРСХ представляет интерес направленность на поиск исключений из ранее изученных общих закономерностей, что послужит уточнению границ, в которых ранее установленные закономерности верны, и развитию теории применительно к ситуации за пределами этих границ.

Обзор формализованных подходов содержится в статье (Lu Lu et al., 2011). Помимо обзора, ее ценность обусловлена введенным в ней новым подходом: строится граница Парето, на которой располагаются сочетания объектов, не улучшаемые (в смысле упорядочения Парето по всем критериям ценности объекта для проводимого исследования) выбором иных сочетаний; затем из таких сочетаний выбирается то, которое в евклидовом пространстве, определяемом всеми критериями ценности (подходящим образом нормированными), расположено ближе всего к точке, координаты которой определяются абсолютными максимумами каждого критерия по всей совокупности. Применимость подхода ограни-

¹ См. <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip3> и <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5> (дата доступа: 24.11.2021).

чивается требованием аддитивности каждого из критериев ценности. В нашем случае оно не выполняется.

Хорошо изучены статистические методы формирования малых выборок, известные под общим названием «задачи оптимального выбора». Их цель — формирование наименьшей случайной выборки, при которой достигается уровень разнообразия объектов (по заданным критериям), приближающийся (с заданной вероятностью) к разнообразию генеральной совокупности при условии, что о последнем можно судить лишь по формируемой выборке. Применительно к многокритериальному случаю основополагающей для исследования таких задач является статья (Samuels & Chotlos, 1986). Ее результаты развиваются в работах (Gnedin, 1994; Glickman, 2000) и др.

Среди подходов, предлагающих при решении задач отбора объектов обрабатывать с помощью формализованных процедур результаты коллективной экспертизы, широко применяются основанные на многоатрибутной теории полезности (MAUT) (Wallenius et al., 2008; Belton, 1985) или аналитическом иерархическом процессе (АНР) — например, (Ahn & Choi, 2008).

Наш случай отличается от представленных выше тем, что отобранные объекты должны быть комплементарны по некоторым признакам: каждый новый объект, включенный в выборку, должен по возможности дополнять ее сочетанием характеристик, отсутствующим у других объектов. Решение подобных задач опирается на целочисленное программирование: см., например, (McBride & Zufryden, 1988; Cutshal et al., 2007; Mahar et al., 2013).

2.3. Решение проблемы отбора регионов на практике

Экспертный отбор предполагает, что включение в выборку каждого отдельного региона обосновывается либо наличием у него какого-либо уникального признака, либо, наоборот, тем, что регион признается наиболее характерным представителем некоторой типологической группы. Эти два основания могут использоваться совместно. Поскольку данный подход не обеспечивает единственность выбора, субъективность — неустранимый недостаток экспертного отбора. Поэтому его применение разумно ограничить исследованиями, которые связаны с поиском отклонений от какой-либо научно признанной закономерности: примером того служит исследование (Светлов и др., 2019).

В соответствии с принципом исключения в выборку включаются регионы, не отвечающие заданному формализованному правилу. Подобно предыдущему, этот способ полезен, когда исследование направлено на выявление причин «необычности», выгодно отличаясь строгостью, невыгодно — тем, что проверка соответствия региона правилу должна быть возможной до начала исследования. Пример такого подхода к отбору регионов — статья (Светлов, 2020), где исследование сфокусировано на субъектах Федерации, взявших на себя невыполнимые обязательства в рамках федерального проекта «экспорт продукции АПК».

Ранжирование по интегральным показателям (или по мультипликативным, которые можно логарифмированием преобразовать в интегральные) — самый простой способ решения проблемы отбора ограниченного перечня объектов, характеризуемых координатами в некотором многомерном аффинном пространстве. Эти координаты становятся компонентами (слагаемыми) интегрального показателя. Применение способа требует, чтобы желательность попадания объекта в выборку монотонно (в идеале линейно) зависела от каждой координаты. Допускается возможность исключений или дополнительных требований, формулируемых применительно к отдельным регионам или всей выборке. Интегральный показатель обычно задается формулой

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i,$$

где n — размерность координатного пространства; x_i — нормированное значение координаты i (реже ранга объекта по значению координаты i); a_i — вес координаты i . Координаты, как правило, нормируются на интервал $[0;1]$ или $[-1;1]$. Часто (и не всегда обоснованно) все веса принимаются равными $1/n$ или 1. Широко известные примеры интегральных показателей — индекс качества жизни (Беляева, 2009), индекс устойчивости городов (Бобылёв и др., 2014), обобщенный показатель продовольственной независимости (Шагайда и Узун, 2015). Задача выбора регионов при помощи интегральных показателей может решаться не только для исследовательских целей, но и, например, для целей природоохранной политики: примером служит статья (Filipe et al., 2004). Для исследования отбираются первые k элементов ранжированного ряда регионов по выбранному интегральному показателю. При наличии ис-

ключений попадающие под них регионы не включаются в ранжированный ряд. В частности, в статье (Krasnopolskaya et al., 2015) для выбора регионов используется их средний ранг по трем показателям, то есть ранги входят в интегральный показатель с весами $1/3$. Общий недостаток всех интегральных показателей связан с субъективизмом при выборе значений a_i .

3. Методика и данные

3.1. Принцип формирования малочисленной выборки, обеспечивающей разнообразие по заданным признакам

В общем случае задача формирования выборки, поставленная во введении, укладывается в следующую форму:

$$\max(u(Q) | Q \subset G; \alpha_i \leq \#(Q \cap A_i) \leq \beta_i, i \in I; \#Q \in N), \quad (1)$$

где Q — дискретное множество элементов, вошедших в выборку; $u(Q)$ — функция полезности выборки; G — генеральная совокупность элементов (дискретное счетное множество); $\#$ — префиксный оператор «число элементов множества»; I — множество признаков; $A_i \subseteq G$ — множество элементов генеральной совокупности, обладающих признаком i , где $i \in I$; α_i и β_i — минимальное и максимальное допустимое число появлений признака i в выборке; N — дискретное множество, содержащее одно или более натуральных чисел, означающих допустимое число элементов в выборке.

В формуле (1) выражение $\alpha_i \leq \#(Q \cap A_i) \leq \beta_i$, $i \in I$ формализует условие разнообразия выборки: в соответствии с ним признак i должен встречаться в ней не менее α_i и не более β_i раз. Выражение $\#Q \in N$ определяет допустимую численность выборки. Функция $u(Q)$ задает ранжированный ряд всех возможных выборок Q из генеральной совокупности G .

В случае проекта ИПРСХ $u(Q)$ — суммарная доля выбранных регионов в валовой продукции сельского хозяйства России; G — множество субъектов Российской Федерации, включая субъекты, входящие в состав другого субъекта, и городов федерального значения. Далее требуется определить множество I в соответствии с прикладной задачей, сформировать множества A_i , выбрать спецификацию задачи (1), удобную для решения существующими численными методами, в чем поможет опыт исследований (McBride & Zufryden, 1988; Cutshal et al., 2007; Mahar et al., 2013), решить построенную задачу.

3.2. Формализация признаков субъектов Федерации

Классификация по природным условиям ведения сельского хозяйства проводится в разрезе пяти укрупненных природно-сельскохозяйственных зон, выделяемых исходя из рельефа, увлажнения и тепла на той части территории субъекта Федерации, где производится преобладающая доля его сельскохозяйственной продукции. Признак Zm приписывается субъектам Федерации, где сельское хозяйство ведется преимущественно в горных районах (независимо от увлажнения и тепла). В остальных четырех группах сельское хозяйство ведется преимущественно на равнинах: Za — в засушливых районах, Zp — в условиях многолетней мерзлоты, Zc — при достаточном увлажнении и прохладном климате (подобном характерному для территорий от юга Нечерноземья до границы многолетней мерзлоты), Zw — при достаточном увлажнении и теплом климате. Классификация проведена экспертным способом с использованием данных монографии (Природно-сельскохозяйственное районирование..., 1983). Поскольку размер формируемой выборки ограничен четырьмя регионами, вводится требование представить в ее составе регионы из четырех различных групп по природным условиям. Одна из групп останется вне программы исследования.

Для классификации по эффективности сельскохозяйственного производства рассчитан показатель технической эффективности по методике DEA (Charnes et al., 1978). Для каждого из субъектов Федерации решена задача линейного программирования, аналогичная предложенной в вышеуказанной статье:

$$\max_{\lambda_g, k_g} (k_g | \lambda_g A \leq a_g; \lambda_g B \geq k_g b_g; \lambda_g \geq 0), \quad (2)$$

где A — матрица затрат, строки которой соответствуют ресурсам, а столбцы субъектам Федерации; a_g — g -й столбец матрицы A ; B — матрица выпусков, строки которой соответствуют видам продукции, а столбцы субъектам Федерации; b_g — g -й столбец матрицы B ; λ_g — вектор безразмерных переменных, соответствующих столбцам матриц A и B , который определяет план использования ресурсов и производства продукции субъектом Федерации $g \in G$; переменная k_g — коэффициент приращения выпуска продукции субъекта Федерации g . Если k_g^* — оптимальное значение переменной k_g , то $1/k_g^*$ — техническая эффективность субъекта Федерации g .

Задача решена при следующих условиях:

— учтены пять видов продукции (по среднегодовому производству за период 2015–2019 гг.): зерно, молоко, скот, птица, остальная продукция сельского хозяйства в стоимостном измерении;

— четыре вида ресурсов (по их среднегодовому наличию в течение того же периода): численность работников, занятых в сельском хозяйстве; энергетические мощности сельхозорганизаций; поголовье скота (в условных головах, приведенных к взрослому крупному рогатому скоту); поголовье птицы (в той же единице измерения).

Сельскохозяйственные угодья, которые во многих субъектах Федерации используются не полностью, в модель не включены во избежание смещенных оценок.

По результатам решения оказалось, что из 79 включенных в модель субъектов Федерации у 40 техническая эффективность равна единице (им приписан признак Eh), а у остальных 39 — меньше единицы (признак El). Решено, что в выборку должно войти по два субъекта Федерации с каждым из этих признаков.

Классификация субъектов Федерации по доле крестьянских хозяйств в производстве сельхозпродукции выполнена по данным Росстата о структуре валовой продукции сельского хозяйства субъектов Федерации по категориям хозяйств за 2018 г. (последний доступный год на момент исследования). Принято решение разделить субъекты Федерации по округленному до целого числа процентов медианному значению доли крестьянских хозяйств, которое составило 10 %. Субъектов Федерации, где эта доля превосходит 10 %, оказалось 39, и им присвоен признак Sh . Остальным 40 субъектам присвоен признак Sl . Решено, что в выборку должно входить по два субъекта Федерации с каждым из этих признаков, причем субъекты Федерации с одинаковым признаком доли крестьянских хозяйств должны различаться признаком эффективности.

Итак, каждому субъекту Федерации приписываются три признака: один из множества $\{Eh, El\}$, один из множества $\{Sh, Sl\}$ и один из множества $\{Za, Zm, Zc, Zp, Zw\}$. На основании проведенных классификаций и сформулированных требований к выборке множество I задано как $\{Eh + Sh, El + Sh, Eh + Sl, Eh + Sh, Za, Zm, Zc, Zp, Zw\}$, где знак + означает одновременное наличие у субъекта Федерации двух указанных признаков. В выборке каждый из первых четырех элементов множества I должен встречаться единожды (в нотации формулы (1) на примере признака $Eh + Sh$ это выражается усло-

вием $\alpha_{Eh + Sh} = \beta_{Eh + Sh} = 1$); каждый из остальных — не более одного раза (на примере признака Za имеет место $\alpha_{Za} = 0, \beta_{Za} = 1$).

3.3. Формирование и ранжирование списков субъектов Федерации, отвечающих требованиям разнообразия

Существует 22341 выборка, соответствующая условиям, сформулированным в п. 3.2. Чтобы в дополнение к ним учесть требование представительности, составлена задача линейного программирования, родственная задачам (McBride & Zufryden, 1988; Cutshal et al., 2007; Mahar et al., 2013), но не содержащая в явном виде условия целочисленности, что на порядок сокращает длительность ее решения:

$$\begin{aligned} \sum_{g \in G} x_g &= 4; \quad \sum_{g \in G_j} x_g = 1, j \in J; \quad \sum_{g \in G_k} x_g \leq 1, k \in K; \\ x_g &\geq 0, g \in G; \quad \sum_{g \in G} a_g x_g \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (3)$$

где $J = \{Eh + Sh, El + Sh, Eh + Sl, Eh + Sh\}$; $K = \{Za, Zm, Zc, Zp, Zw\}$; G_j и G_k — множества субъектов Федерации, входящих соответственно в группу j или k ; x_g — логическая переменная, означающая включение (единица) либо исключение (ноль) субъекта Федерации g в число выбранных; a_g — доля субъекта Федерации g в валовом сельскохозяйственном производстве Российской Федерации (за пятилетие 2015–2019 гг.).

Эта задача представляет собой спецификацию задачи (1), учитывающую условия, изложенные в п. 3.2, и функцию полезности, отражающую требование представительности. Первое уравнение задачи (3) соответствует условию задачи (1), определяющему допустимую численность выборки; второе и третье соответствуют требованию разнообразия; целевая функция соответствует функции $u(Q)$; множество Q — это множество индексов тех переменных x_g , которые равны единице в оптимальном решении. Задача обладает удобными для нашей цели вычислительными свойствами: любое ее угловое допустимое решение является целочисленным.

Задача (3) допускает, при необходимости, дальнейшую спецификацию. Так, субъекты Федерации, которые по тем или иным причинам (слишком узкая специализация, неготовность местного агробизнеса к сотрудничеству и т. п.) нежелательно включать в выбранную четверку, можно исключить из множества G . На деле необходимость пересмотра четверки выбранных субъектов Федерации, скорее всего, обнаружится лишь на этапе инвен-

таризации имеющихся данных по этим регионам или в ходе переговоров с представителями властей и агробизнеса. Поэтому лучше вначале решить данную задачу, включив в множество G все субъекты Федерации, а в случае необходимости пересмотра полученной четверки перерешать модель, исключив только те субъекты Федерации, которые на предыдущем этапе оказались неприемлемыми. Такую процедуру при необходимости можно повторять неоднократно.

Еще один прием относится к ситуации, когда нет оснований выделить «нежелательный» регион из числа четырех, но вся выбранная четверка по каким-либо веским причинам не отвечает требованиям проекта. Например, различия между вошедшими в нее регионами могут оказаться недостаточно контрастными. В этом случае можно получить четверку, занимающую второе место по значению целевой функции среди всех четверок, отвечающих требованию разнообразия, решив задачу (3) с дополнительным ограничением

$$\sum_{g \in Q_1} x_g \leq 3,$$

где Q_1 — отклоненная выборка. При необходимости можно, последовательно добавляя в задачу аналогичные ограничения, основанные на предшествующих оптимальных решениях, получить четверки, занимающие последующие места (третье, четвертое и т. д.) в ранжированном ряду допустимых целочисленных решений задачи (3), упорядоченном по значению целевой функции. Добавляемые ограничения не ухудшают вычислительные свойства задачи: все ее угловые допустимые решения остаются целочисленными.

Условимся считать выборки, полученные с помощью такого приема, почти равноценными, если соответствующие им значения целевой функции различаются не более чем на 0,01.

4. Результаты

Решением задачи (3) стала следующая четверка субъектов Федерации: Алтайский край ($El + Sh, Za$), Красноярский край ($El + Sl, Zp$), Краснодарский край ($El + Sh, Zw$), Московская область ($El + Sl, Zc$). Эти четыре субъекта Федерации в совокупности производят, по данным за период с 2015 по 2019 г., 13,21 % валовой продукции сельского хозяйства страны.

Если эта четверка по каким-то причинам неприемлема, то вторая по ранжиру получается заменой Алтайского края Волгоградской обла-

стью ($El + Sh, Za$), что снижает долю выборки в сельском хозяйстве страны до 13,18 %. Третья получается из первой заменой Алтайского края на Саратовскую область, имеющую то же самое сочетание признаков, при этом снижение доли по сравнению с выборкой, занявшей второе место, пренебрежимо мало. Четвертая — заменой Московской области на Ленинградскую (обе характеризуются одинаковыми признаками), что дает 12,97 %. Пятая — заменой Московской области на Ленинградскую, а Алтайского края на Волгоградскую с результатом 12,95 %. Как видим, первая пятерка выборок равноценна по требованию разнообразия и почти равноценна по требованию представительности: различия между соответствующими значениями целевой функции (в долях) не превосходят 0,01.

В таблице 1 представлены те количественные показатели всех семи субъектов Федерации, вошедших хотя бы в одну из этих выборок, которые относятся к требованиям разнообразия и представительности. Любой из этих регионов вносит не менее полутора процентов в валовой объем сельскохозяйственного производства России. При этом они существенно различаются между собой по технической эффективности и по институциональной структуре сельского хозяйства. Для сравнения: в России наибольшая доля в валовом производстве сельхозпродукции за период 2015–2019 гг. принадлежит Краснодарскому краю, наименьший коэффициент технической эффективности — Пермскому краю (0,652), наибольший вклад крестьянских хозяйств в производство сельхозпродукции в 2018 г. — Магаданской области (48,8 %), наименьший — соседнего с ней Чукотскому автономного округа (1,0 %).

Для целей проекта ИПРСХ представляют интерес априорные оценки чистого эффекта сценарного изменения климата для отобранных субъектов Федерации, полученные по методикам, не предполагающим углубленного изучения специфики каждого из них. Это позволит по завершении проекта дать оценку таким методикам. В связи с этим приведем оценки для тех же семи субъектов Федерации, полученные по методике (Светлов, 2021). Понятие «чистый эффект» подразумевает, что все факторы, за исключением климата, зафиксированы на уровне базового периода (в данном случае 2015–2019 гг.).

Методика (Светлов, 2021) предполагает сравнение двух сценариев. Базовый сценарий отражает фактический климат. Альтернативный предполагает, что под влиянием изменивше-

Таблица 1

Признаки разнообразия субъектов Федерации, вошедших в пять наилучших выборок

Table 1

Characteristics of diversity of the constituent entities of the Russian Federation included in the five best samples

Субъект Федерации	Доля в валовом производстве с.х. продукции России за 2015–2019 гг., %	Коэффициент технической эффективности	Доля крестьянских хозяйств в производстве с. х. продукции (2018 г.)
Алтайский край	2,56	0,737	18,4
Красноярский край	1,51	0,748	6,5
Краснодарский край	7,19	1	18,9
Московская область	1,95	1	2,4
Волгоградская область	2,54	0,861	20,2
Саратовская область	2,54	0,880	29,7
Ленинградская область	1,71	1	3,5

Источники: расчеты автора по данным Росстата.

гося климата равнинные природно-сельскохозяйственные зоны с достаточным увлажнением (где уровень осадков превышает испаряемость) смещаются в направлении на северо-восток на 30 % своей площади, а на мировом рынке цены всех видов сельхозпродукции возрастают на 50 %. В оба сценария включен фактор государственных гарантий продовольственной безопасности: каждому субъекту Федерации гарантируется потребление продукции каждого вида, учтенного в модели (кроме «остальной продукции сельского хозяйства»), не меньше, чем требуется в случае соблюдения (без избытка) действующих норм потребления продовольствия всем населением этого субъекта в соответствии с рекомендациями Минздравсоцразвития России. Оба сценария закладываются в модель частичного равновесия на оптовых рынках сельскохозяйственной продукции субъектов Российской Федерации (модель ВИАПИ), учитывающую межрегиональные транспортные связи и случайные различия в условиях производства разных лет базового периода. Оценки чистого эффекта сценарного изменения климата получены как разность между показателями равновесий для альтернативного и базового сценариев.

Влияние изменения климата на объемы производства характеризуется данными, представленными в таблице 2. В ней представлены только два субъекта Федерации, расположенные в Сибири: в остальных пяти объемы производства нечувствительны к различиям между двумя сценариями. Но и здесь эффекты, выявленные моделированием, разнонаправлены и невелики по размерам. Наиболее заметный из них — изменение специализации птицеводства Красноярского края: сократится производство мяса птицы в пользу яиц. Причин такой устойчивости производства к послед-

Таблица 2

Влияние сценарного изменения климата на производство сельскохозяйственной продукции, %

Table 2

Impact of scenario climate change on agricultural production, %

Виды продукции	Алтайский край	Красноярский край
Зерно	+0,28	-1,58
Подсолнечник	-0,82	—
Сахарная свёкла	+2,48	—
Картофель	-0,44	-1,51
Овощи открытого грунта	-5,93	-1,77
Молоко	+0,90	-2,11
Скот	+0,72	-4,26
Птица	-0,52	-15,31
Яйца	+0,20	+7,26
Остальная продукция	-1,19	-3,05

Источник: расчеты автора на основе результатов решения модели ВИАПИ имени А. А. Никонова — филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ.

ствиям изменения климата две. Во-первых, потепление создает потенциал роста производства, но он не всегда реализуется: сложившаяся структура ресурсов сельского хозяйства соответствует прежнему климату, а не новому. Во-вторых, стабилизирующим фактором оказываются государственные гарантии продовольственной безопасности.

Цены, в отличие от объемов производства, намного чувствительней к климату (табл. 3). Главным фактором различий оказывается сокращение в альтернативном сценарии потребления тех продуктов, в балансе которых существенное значение имеет внешняя торговля, а именно зерна (его экспорт при этом сценарии возрастает) и молока (импорт продуктов его переработки сокращается). В резуль-

Таблица 3

Влияние сценарного изменения климата на цены сельскохозяйственной продукции, %

Table 3

Impact of scenario climate change on agricultural prices, %

Вид продукции	Изменение цен по субъектам Федерации						
	Алтайский край	Красноярский край	Краснодарский край	Московская обл.	Волгоградская обл.	Саратовская обл.	Ленинградская обл.
Зерно	+14,36	+2,37	+5,99	+3,18	+12,44	+14,27	+2,74
Подсолнечник	+1,04	+1,95	+2,69	+2,28	+2,27	+1,02	+2,01
Сахарная свёкла	+1,84	+1,61	+1,96	+2,07	+2,99	+0,85	+1,89
Картофель	+1,66	+2,25	+2,86	+3,07	+3,21	+1,86	+2,71
Овощи открытого грунта	+0,38	+1,86	+2,90	+3,06	+3,02	+1,48	+2,14
Молоко	+7,11	+12,73	+21,97	+24,24	+23,12	+9,96	+20,70
Скот	+0,42	+0,90	+1,12	+1,22	+1,14	+0,48	+1,10
Птица	+0,15	+0,44	+0,26	+0,29	+0,26	+0,08	+0,26
Яйца	+0,22	+0,59	+0,32	+0,36	+0,32	+0,10	+0,32
Остальная продукция	0,96	+0,16	-3,87	-4,09	-4,59	-2,59	-3,37

Источник: расчеты автора на основе результатов решения модели ВИАПИ имени А. А. Никонова — филиал ФГБНУ ФНИЦ ВНИИЭСХ.

тате цены на оба этих продукта заметно возрастают во всех семи анализируемых субъектах Федерации. Изменения цен на другие продукты сравнительно невелики — это преимущественно косвенные эффекты изменений на рынках зерна и молока, транслируемые через ненулевые кросс-эластичности спроса по ценам. Итак, главный канал влияния изменения климата на оптовые цены сельхозпродукции в регионах России, судя по данным семи субъектов Федерации, — это рост мировых цен, влияющий на внутренние рынки вследствие роста экспорта зерна и сокращения импорта молока (в виде продуктов его переработки). Единственный вид продукции, по которому можно ожидать снижения цен при климате альтернативного сценария, — это «остальная продукция сельского хозяйства», дешевеющая в шести субъектах Федерации из семи.

Состав наилучшей выборки удачно отразил разнообразие влияния климата на вошедшие в нее регионы: здесь представлены субъекты Федерации, качественно различающиеся откликом объемов производства на сценарное изменение климата, а также регион, где в альтернативном сценарии дорожает продукция всех десяти видов, а не девяти, как в остальных трех.

5. Выводы

В статье выработан методологический принцип формирования малочисленной выборки, обеспечивающей требуемое разно-

образии по заданному множеству признаков. На его основании предложена задача линейного программирования, описывающая совокупность требований, априори предъявленных к малочисленной выборке субъектов Федерации, предназначенной для проведения исследований в интересах научного проекта «Исследование потенциала российского сельского хозяйства для производства продовольствия, сельского развития, смягчения и адаптации к изменению климата: роль изменения землепользования, технологического прогресса и аграрной политики».

На основании решения этой задачи показано, что требованиям разнообразия (наличие в выборке субъектов Федерации, контрастных по природным условиям ведения сельского хозяйства, по доле крестьянских хозяйств в производстве сельхозпродукции и по эффективности сельскохозяйственного производства), численности (четыре субъекта Федерации) и представительности (максимально возможный вклад выборки в валовое производство сельскохозяйственной продукции России) соответствует четверка, включающая Краснодарский край, Алтайский край, Московскую область и Красноярский край. В качестве показателя эффективности сельскохозяйственного производства использованы непараметрические оценки технической эффективности субъектов Российской Федерации, рассчитанные по методике DEA.

Выбор в пользу указанной четверки не является окончательным и при необходимости может быть пересмотрен. Выборки, занимающие места со второго по пятое по доле в сельскохозяйственной продукции России, равноценны ей с позиций разнообразия и почти равноценны с позиций представительности, в связи с чем решающими для окончательного выбора могут оказаться второстепенные критерии.

Анализ, проведенный при помощи модели частичного равновесия на оптовых рынках сельскохозяйственной продукции субъектов Российской Федерации (модели ВИАПИ), показал, что среди всех семи субъектов Федерации, вошедших хотя бы в одну из этих пяти выборок, только в двух — Алтайском и Красноярском краях — объемы производства сельскохозяйственной продукции чувствительны к изменению климата, согласно сценарию статьи (Светлов, 2021). В этих двух регионах влияние климата на сельское хозяйство отрицательно

для производства одних продуктов и положительно для других. В остальных пяти регионах объемы производства остаются неизменными, сдерживаемые сложившейся структурой ресурсного потенциала и госгарантиями продовольственного обеспечения населения. Полученные оценки относятся к случаю, когда климат является единственным действующим фактором. Влияние климата вкупе с целенаправленными мерами по максимизации положительных и минимизации отрицательных последствий его изменения еще предстоит изучить.

В отличие от ситуации с объемами производства, оптовые цены продукции во всех семи субъектах Федерации изменятся, причем характер этих изменений схож. Их главной движущей силой оказывается рост мировых цен на сельхозпродукцию, провоцируемый изменением климата. В результате на внутреннем рынке существенно дорожают зерно и особенно молоко.

Список источников

- Беляева, Л. А. (2009). Уровень и качество жизни. Проблемы измерения и интерпретации. *Социологические исследования*, 1, 33–42.
- Бобылёв, С. Н., Кудрявцева, О. В., Соловьёва, С. В. (2014). Индикаторы устойчивого развития для городов. *Экономика региона*, 3, 101–110.
- Гордеев, А. В. (ред.) (2012). *Биоклиматический потенциал России: продуктивность и рациональное размещение сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата*. Москва: Минсельхоз России, 202.
- Каштанов, А. Н. (ред.) (1983). *Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР*. Москва: Колос, 335.
- Порфирьев, Б. Н., Катцов, В. М., Рогинко, С. А. (2011). *Изменения климата и международная безопасность*. Москва: Д'АРТ, 292.
- Романенко, И. А., Сиптиц, С. О., Евдокимова, Н. Е. (2020). *Агропродовольственная стратегия регионов в условиях неопределённости будущего климата*. Науч. труды ВИАПИ имени А. А. Никонова, Сер. 53. Москва: Аналитик, 204.
- Светлов, Н. М. (2020). Как улучшить планирование федерального проекта «Экспорт продукции АПК». *АПК: экономика, управление*, 10, 41–50.
- Светлов, Н. М. (2021). Оценка влияния климата на балансы сельскохозяйственной продукции. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*, 10, 10–18.
- Светлов, Н. М., Янбых, Р. Г., Логинова, Д. А. (2019). О неоднородности эффектов господдержки сельского хозяйства. *Вопросы экономики*, 4, 59–73.
- Строков, А. С. (2021). Эмиссия парниковых газов при производстве растениеводческой продукции. *Вестник Российской академии наук*, 3, 265–272.
- Строков, А. С., Терновский, Д. С., Поташников, В. Ю., Потапова, А. А. (2020). Оценка экологических экстерналий как последствий расширения внешнеторговой деятельности. *Журнал Новой Экономической Ассоциации*, 4, 113–137.
- Шагайда, Н. И., Узун, В. Я. (2015). Продовольственная безопасность: проблемы оценки. *Вопросы экономики*, 5, 63–78.
- Ahn, B. S. & Choi, S. H. (2008). ERP System Selection Using a Simulation-Based AHP Approach: A Case of Korean Homeshopping Company. *The Journal of the Operational Research Society*, 3, 322–330. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602365>
- Alcamo, J., Dronin, N., Endejan, M., Golubev, G. & Kirilenko, A. (2007). A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. *Global Environmental Change*, 17, 429–444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.12.006>
- Belton, V. (1985). The Use of a Simple Multiple-Criteria Model to Assist in Selection from a Shortlist. *Journal of the Operational Research Society*, 4, 265–274.

- Belyaeva, M. & Bokusheva, R. (2018). Will climate change benefit or hurt Russian grain production? A statistical evidence from a panel approach. *Climatic Change*, 149, 205-217. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2221-3>
- Charnes, A., Cooper, W. W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Cutshall, R., Gavirneni, S. & Schultz, K. (2007). Indiana university's Kelley school of business uses integer programming to form equitable, cohesive student teams. *Interfaces*, 3, 265-276. DOI: <https://doi.org/10.1287/inte.1060.0248>
- Filipe, A. F., Marques, T. A., Seabra, S., Tiago, P., Ribeiro, F., da Costa, L. M., ... Collares-Pereira, M. J. (2004). Selection of priority areas for fish conservation in Guadiana river basin, Iberian Peninsula. *Conservation Biology*, 18(1), 189-200.
- Glickman, H. (2000). A best-choice problem with multiple selectors. *Journal of Applied Probability*, 3, 718-735.
- Gnedin, A. V. (1994). On a best-choice problem with dependent criteria. *Journal of Applied Probability*, 1, 221-234.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability: Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press, 944. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>
- Kiselev, S., Romashkin, R., Nelson, G., Mason-D'Croz, D. & Palazzo A. (2013). Russia's Food Security and Climate Change: Looking into the Future. *Economics*, 7(1), 20130039. DOI: <https://doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2013-39>
- Kiselev, S., Stokov, A. & Belugin, A. (2016). Projections of Russia's agricultural development under the conditions of climate change. *Studies on Russian Economic Development*, 5, 548-556. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1075700716050063>
- Krasnopolskaya, I., Skokova, Y. & Pape, U. (2015). Government-nonprofit relations in Russia's regions: an exploratory analysis. *Voluntas: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations*, 6, 2238-2266.
- Linos, K. (2015). How to select and develop international law case studies: lessons from comparative law and comparative politics. *American Journal of International Law*, 3, 475-485. DOI: <https://doi.org/10.5305/amerjintelaw.109.3.0475>
- Lu L., Anderson-Cook, C. M. & Robinson, T. J. (2011). Optimization of designed experiments based on multiple criteria utilizing a Pareto frontier. *Technometrics*, 53(4), 353-365. DOI: <https://doi.org/10.1198/TECH.2011.10087>
- Mahar, S., Winston, W. & Wright, P. D. (2013). Eli Lilly and Company uses integer programming to form volunteer teams in impoverished countries. *Interfaces*, 3, 268-284. DOI: <https://doi.org/10.1287/inte.2013.0679>
- McBride, R. D. & Zufryden, F. S. (1988). An integer programming approach to the optimal product line selection problem. *Marketing Science*, 2, 126-140.
- Pavlova, V., Varcheva, S., Bokusheva, R. & Calanca, P. (2014). Modelling the effects of climate variability on spring wheat productivity in the steppe zone of Russia and Kazakhstan. *Ecological Modelling*, 277, 57-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.01.014>
- Samuels, S. M. & Chotlos, B. (1986). A Multiple Criteria Optimal Selection Problem. In: *Adaptive Statistical Procedures and Related Topics* (pp. 62-78). Hayward: Institute of Mathematical Statistics.
- Siptits, S. O., Romanenko, I. A. & Evdokimova, N. E. (2021). Model Estimates of Climate Impact on Grain and Leguminous Crops Yield in the Regions of Russia. *Studies on Russian economic development*, 32, 169-176. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1075700721020106>
- Svetlov, N. M., Siptits, S. O., Romanenko, I. A. & Evdokimova, N. E. (2019). The effect of climate change on the location of branches of agriculture in Russia. *Studies on Russian economic development*, 30, 406-418. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1075700719040154>
- Wallenius, J., Fishburn, P. C., Zionts, S., Dyer, J. S., Steuer, R. E. & Deb, K. (2008). Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead. *Management Science*, 7, 1336-1349. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.1070.0838>

References

- Ahn, B. S. & Choi, S. H. (2008). ERP System Selection Using a Simulation-Based AHP Approach: A Case of Korean Homeshopping Company. *The Journal of the Operational Research Society*, 3, 322-330. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602365>
- Alcamo, J., Dronin, N., Endejan, M., Golubev, G. & Kirilenko, A. (2007). A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. *Global Environmental Change*, 17, 429-444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.12.006>
- Belton, V. (1985). The Use of a Simple Multiple-Criteria Model to Assist in Selection from a Shortlist. *Journal of the Operational Research Society*, 4, 265-274.
- Belyaeva, M. & Bokusheva, R. (2018). Will climate change benefit or hurt Russian grain production? A statistical evidence from a panel approach. *Climatic Change*, 149, 205-217. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2221-3>
- Belyaeva, L. A. (2009). Level and quality of life. Problems of measurement and interpretation. *Sotsiologicheskie issledovaniya [Sociological studies]*, 1, 33-42. (In Russ.)
- Bobylyov, S. N., Kudryavtseva, O. V. & Solovyova, S. V. (2014). Sustainable development indicators for cities. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 3, 101-110. (In Russ.)
- Charnes, A., Cooper, W. W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.

- Cutshall, R., Gavirneni, S. & Schultz, K. (2007). Indiana university's Kelley school of business uses integer programming to form equitable, cohesive student teams. *Interfaces*, 3, 265-276. DOI: <https://doi.org/10.1287/inte.1060.0248>
- Filipe, A. F., Marques, T. A., Seabra, S., Tiago, P., Ribeiro, F., da Costa, L. M., ... Collares-Pereira, M. J. (2004). Selection of priority areas for fish conservation in Guadiana river basin, Iberian Peninsula. *Conservation Biology*, 18(1), 189-200.
- Glickman, H. (2000). A best-choice problem with multiple selectors. *Journal of Applied Probability*, 3, 718-735.
- Gnedin, A. V. (1994). On a best-choice problem with dependent criteria. *Journal of Applied Probability*, 1, 221-234.
- Gordeev, A. V. (Ed.). (2012). *Bioklimaticheskiy potentsial Rossii: produktivnost i ratsionalnoe razmeshchenie selskokhozyaystvennykh kultur v usloviyakh izmeneniya klimata [Bioclimatic capacity of Russia: productivity and rational allocation of crops in the conditions of climate change]*. Moscow: Ministry of Agriculture of Russian Federation, 202. (In Russ.)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability: Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press, 944. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>
- Kashtanov, A. N. (Ed.). (1983). *Prirodno-selskokhozyaystvennoe rayonirovanie i ispolzovanie zemelnogo fonda SSSR [Natural and agricultural zoning and the use of land fund of the USSR]*. Moscow: Kolos, 335. (In Russ.)
- Kiselev, S., Romashkin, R., Nelson, G., Mason-D'Croz, D. & Palazzo A. (2013). Russia's Food Security and Climate Change: Looking into the Future. *Economics*, 7(1), 20130039. DOI: <https://doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2013-39>
- Kiselev, S., Stokov, A. & Belugin, A. (2016). Projections of Russia's agricultural development under the conditions of climate change. *Studies on Russian Economic Development*, 5, 548-556. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1075700716050063>
- Krasnopolskaya, I., Skokova, Y. & Pape, U. (2015). Government-nonprofit relations in Russia's regions: an exploratory analysis. *Voluntas: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations*, 6, 2238-2266.
- Linos, K. (2015). How to select and develop international law case studies: lessons from comparative law and comparative politics. *American Journal of International Law*, 3, 475-485. DOI: <https://doi.org/10.5305/amerjintelaw.109.3.0475>
- Lu L., Anderson-Cook, C. M. & Robinson, T. J. (2011). Optimization of designed experiments based on multiple criteria utilizing a Pareto frontier. *Technometrics*, 53(4), 353-365. DOI: <https://doi.org/10.1198/TECH.2011.10087>
- Mahar, S., Winston, W. & Wright, P. D. (2013). Eli Lilly and Company uses integer programming to form volunteer teams in impoverished countries. *Interfaces*, 3, 268-284. DOI: <https://doi.org/10.1287/inte.2013.0679>
- McBride, R. D. & Zufryden, F. S. (1988). An integer programming approach to the optimal product line selection problem. *Marketing Science*, 2, 126-140.
- Pavlova, V., Varcheva, S., Bokusheva, R. & Calanca, P. (2014). Modelling the effects of climate variability on spring wheat productivity in the steppe zone of Russia and Kazakhstan. *Ecological Modelling*, 277, 57-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.01.014>
- Porfiriyev, B. N., Kattsov, V. M. & Roginko, S. A. (2011). *Izmeneniya klimata i mezhdunarodnaya bezopasnost [Climate change and international security]*. Moscow: D'ART, 292 (In Russ.)
- Romanenko, I. A., Siptits, S. O. & Evdokimova, N. E. (2020). *Agroprodovolstvennaya strategiya regionov v usloviyakh neopredelyonosti budushchego klimata [Agro-industrial strategy of regions under the conditions of climate uncertainty in the future]*. VI API n.a. A. A. Nikonov, Ser. 53. Moscow: Analyst, 204. (In Russ.)
- Samuels, S. M. & Chotlos, B. (1986). A Multiple Criteria Optimal Selection Problem. In: *Adaptive Statistical Procedures and Related Topics* (pp. 62-78). Hayward: Institute of Mathematical Statistics.
- Shagaida, N. I. & Uzun, V. Ya. (2015). Food security: problems of assessing. *Voprosy ekonomiki*, 5, 63-78. (In Russ.)
- Siptits, S. O., Romanenko, I. A. & Evdokimova, N. E. (2021). Model Estimates of Climate Impact on Grain and Leguminous Crops Yield in the Regions of Russia. *Studies on Russian economic development*, 32, 169-176. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1075700721020106>
- Stokov, A. S. (2021). Emission of greenhouse gases during crop production. *Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk [Herald of the Russian Academy of Sciences]*, 3, 265-272. (In Russ.)
- Stokov, A. S., Ternovsky, D. S., Potashnikov, V. Yu. & Potapova, A. A. (2020). Economical evaluation of externalities using partial equilibrium model. *Zhurnal Novoy Ekonomicheskoy Assotsiatsii [Journal of the New Economic Association]*, 4, 113-137. (In Russ.)
- Svetlov, N. M. (2020). How to improve the planning of the federal project "export of agricultural products". *APK: ekonomika, upravlenie [AIC: economics, management]*, 10, 41-50. (In Russ.)
- Svetlov, N. M. (2021). Estimation of climatic influence on balances of agricultural products. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii [Economy of agricultural and processing enterprises]*, 10, 10-18. (In Russ.)
- Svetlov, N. M., Siptits, S. O., Romanenko, I. A. & Evdokimova, N. E. (2019). The effect of climate change on the location of branches of agriculture in Russia. *Studies on Russian economic development*, 30, 406-418. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1075700719040154>
- Svetlov, N. M., Yanbykh, R. G. & Loginova, D. A. (2019). On the diversity of the effects of the state support for agriculture. *Voprosy ekonomiki*, 4, 59-73. (In Russ.)

Wallenius, J., Fishburn, P. C., Zionts, S., Dyer, J. S., Steuer, R. E. & Deb, K. (2008). Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead. *Management Science*, 7, 1336-1349. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.1070.0838>

Информация об авторе

Светлов Николай Михайлович — доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Всероссийского института аграрных проблем и информатики им. А. А. Никонова — филиала ФНЦ ВНИИЭСХ; Scopus Author ID: 36245417600; <https://orcid.org/0000-0001-6906-6129> (Российская Федерация, 107078, г. Москва, Большой Харитоньевский пер., д. 21, стр. 1; e-mail: svetlov@viapi.ru).

About the author

Nikolai M. Svetlov — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Corresponding Member of RAS, Chief Research Associate, All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A. A. Nikonov — Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas — All-Russian Research Institute of Agricultural Economics” (VIAPI n. a. A. A. Nikonov — Branch of the FSBSI FRC AESDRA VNIIESH); Scopus Author ID: 36245417600; <https://orcid.org/0000-0001-6906-6129> (21/1, Bolshoy Kharitonievsky Lane, Moscow, 107078, Russian Federation; e-mail: svetlov@viapi.ru).

Дата поступления рукописи: 22.12.2021.

Прошла рецензирование: 16.03.2022.

Принято решение о публикации: 24.03.2023.

Received: 22 Dec 2021.

Reviewed: 16 Mar 2022.

Accepted: 24 Mar 2023.